

仙台市八木山地区都市計画道路開通による沿道環境への影響

著者	内田 美穂, 矢目 和也, 山家 魁貴, 阿部 誠也, 生出 隼涼, 福島 慧二郎
雑誌名	東北工業大学紀要. 理工学編・人文社会科学編
号	37
ページ	11-19
発行年	2017-03-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1241/00000045/

仙台市八木山地区都市計画道路開通による沿道環境への影響

内田 美穂* 矢目 和也** 山家 魁貴** 阿部 誠也** 生出 隼涼** 福島 慧二郎**

Factors affecting the roadside environment of newly-opened roads in Yagiyama, Sendai

Miho UCHIDA*, Kazuya YANOME**, Kaiki YANBE**,
Seiya ABE**, Syunsuke OIDE* and Keijiro FUKUSHIMA**

Abstract

We surveyed traffic volume, concentrations of nitrogen dioxide and ozone, and weather conditions including temperature and wind speed along the roadside of newly-opened roads in the Yagiyama area of Sendai. After the road was opened, total traffic volume increased. At the Yagiyama-Minami intersection, one of our measurement sites, traffic volume was not positively correlated with the concentrations of nitrogen dioxide or ozone in the air, while the intensity of ultraviolet radiation showed a highly positive correlation with the concentrations of both constituents. During the measurement period from October to December, the environment along the newly opened road was influenced more by weather conditions, such as ultraviolet radiation, than by the increase in traffic volume.

1. はじめに

1.1 仙台市八木山地区における都市計画道路の設定

仙台市の都市計画道路網は、高度経済成長期にあたる昭和 40 年代前半に、人口増加に伴う市街地拡大を見直した大幅な見直しを行い、その後も、隣接市町との合併による追加などを経て、現在に至っている。しかし、都市計画道路の整備には多額の費用を要することなどから、市の都市計画道路の整備が進んでいない状況にある。今後、都市計画道路事業費が現在と同水準で推移した場合でも、都市計画道路の整備が完了するまでに概ね 80 年程度見込まれている[1]。

八木山地区については、長町八木山線、郡山折立線、川内旗立線などが計画されていた。仙台市八木山南とひより台の両地区を結ぶひより台大橋は、1966 年 3 月に建設の前提となる市の都市

計画として決定された。しかし、未着工のまま 40 年が経過し、2006 年度、地下鉄東西線建設に伴いアクセス道の必要性が高まったとして事業が着手された[2]。

国道 286 号線と八木山南を結ぶ郡山折立線は、1999 年度に仙台市の重要施策である「アクセス 30 分構想」において、地下鉄東西線動物公園駅へのアクセス道路に位置付けされており、地下鉄東西線の開業前までの完成を目指していた[3]。

仙台市八木山地区における都市計画道路等開通日を表 1、仙台市八木山地区周辺に計画された都市計画道路図[4]を図 1 に示す。

表 1 八木山地区における都市計画道路等開通日

開通日	名称	接続地域
2015年10月17日(土)	ひより台大橋	[ひより台-八木山南]
2015年11月21日(土)	郡山折立線	[鉤取本町-八木山南]
2015年11月28日(土)	長町八木山線	[西多賀-八木山本町]
2015年12月6日(日)	地下鉄東西線	[八木山-仙台駅-荒井]

2016 年 10 月 21 日受理

* 環境エネルギー学科 准教授

** 環境エネルギー学科 学生

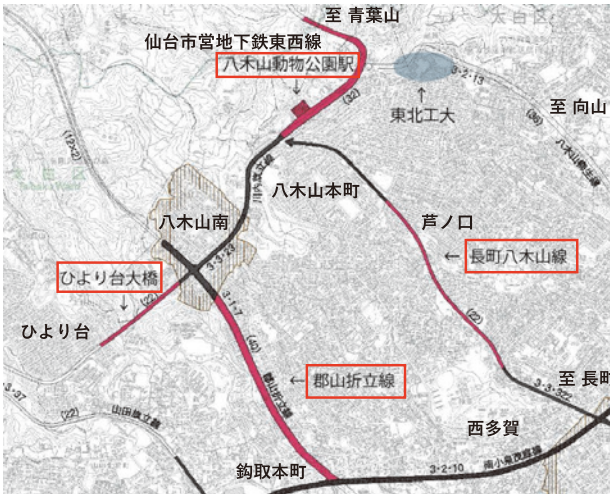


図 1 仙台市八木山地区周辺に計画された都市計画道路[4]
※参考文献[4]より地図引用，著者により一部 加工

1.2 八木山地区の交通量調査

仙台市では、概ね 3 年ごとに自動車の交通量調査[5]を行っている。

調査は、仙台市内における一般国道や県道、市道などの主要交差点などを対象とし、合計 132 箇所自動車交差点交通量を調査しており、昼間(7 時～19 時・12 時間)を対象に、時間帯別、交差点方向別、車種別の交通量をカウントしている。

平成 6 年度、平成 9 年度、平成 14 年度、平成 17 年度、平成 20 年度、平成 25 年度の全てで調査を行った 84 交差点での交通量の推移は、平成 9 年度をピークとして、その後減少傾向にある。仙台都心部の主要交差点交通量(24 交差点)は、平成 6 年度から減少傾向にある。都心部以外の主要交差点交通量(60 交差点)は、平成 17 年度をピークに減少傾向に転じている[5]。

仙台市の調査交差点のうち、八木山地区における平成 20 年 9 月と平成 25 年 10 月の 12 時間(7:00～19:00)総交通量[5]を図 2 に示す。動物公園前交差点、八木山本町二丁目交差点で共に減少傾向がみられた。

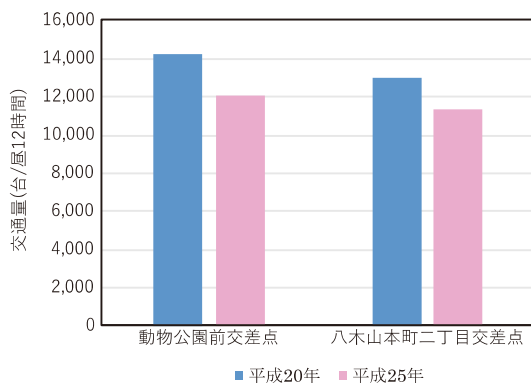


図 2 仙台市八木山地区の平成 20 年、25 年度の交通量
※ 参考文献[5]のデータより著者作成

1.3 大気常時監視項目の測定

宮城県では、大気汚染防止法第 22 条の規定に基づき、宮城県内の大気環境基準の適合状況や高濃度汚染の把握のため、県内 19 ヶ所(仙台市分を除く)に測定局において大気汚染の状況を常時監視[6]している。このうち 16 ヶ所は一般環境大気測定局(環境局)と呼ばれ、住宅地などの一般的な生活空間の大気汚染状況を常時監視する測定局である。残りの 3 ヶ所は自動車排出ガス測定局(自排局)と呼ばれ、自動車排出ガスによる大気の汚染状況を常時監視する測定局である。環境基準が設定されている大気汚染物質(二酸化硫黄、二酸化窒素、一酸化炭素、浮遊粒子状物質、光化学オキシダント、微小粒子状物質)のほか、データ解析に必要な風向・風速などの測定を行っている[6]。自動車はガソリン、軽油などを燃焼させ、大量の排出ガスを出して走っている。そのガスの中には窒素酸化物が含まれている。窒素酸化物は紫外線により空気中の酸素と光化学反応を起こし、オゾン等の光化学オキシダントを生成するとされている[7]。宮城県の測定局のうち、八木山に近い仙台市太白区長町、山田の 2 地点での二酸化窒素、光化学オキシダント濃度の 2015 年 9 月 28 日における日変化のグラフを図 3、4 に示す。

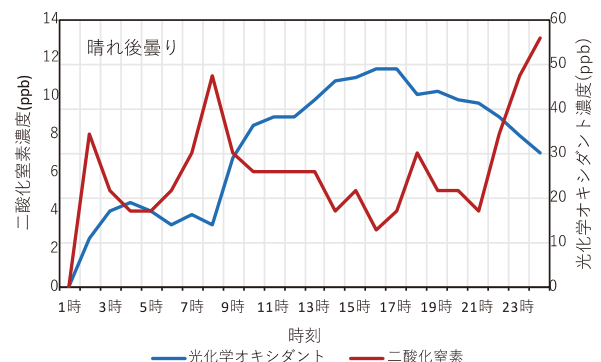


図 3 長町における二酸化窒素、光化学オキシダント濃度の日変化
(2015 年 9 月 28 日)※参考文献[6]のデータより著者作成

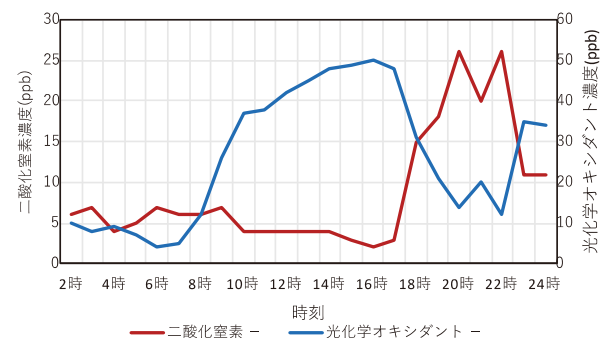


図 4 山田における二酸化窒素、光化学オキシダント濃度の日変化
(2015 年 9 月 28 日)※参考文献[6]のデータより著者作成

日時毎の天候と交通量により二酸化窒素、光化学オキシダント濃度の時間変化のパターンは異なるが、二酸化窒素の変化が表れる時間帯は交通量が増加する 8 時以降、光化学オキシダントについては日中太陽光が当たる 9 時から日没までであることがわかる。

1.4 本研究の目的

前項で述べたように、八木山地区に相次いで都市計画道路が開通したことにより、沿道環境、特に交通量は短期間で大きく変化すると考えられる。

そこで本研究では、仙台市八木山地区に新たに開通した都市計画道路沿道や近辺の交通量と大気環境、特に交通量に連動して変化がすることが予想される二酸化窒素とオゾン濃度の調査を行い、都市計画道路開通前後の環境を分析、比較することにより都市計画道路の開通による沿道環境の変化を考察した。

2. 研究方法

2.1 調査方法

(1) 調査場所

調査地点として以下の 4 地点を設定した。交通量を地点 A～D で、大気濃度を地点 A～C で測定した。

A: 八木山南グリーンベルト交差点

B: 八木山小学校脇交差点

C: 動物公園前交差点

D: 東北工業大学八木山キャンパス正門前
測定地点を図 5 に示す。

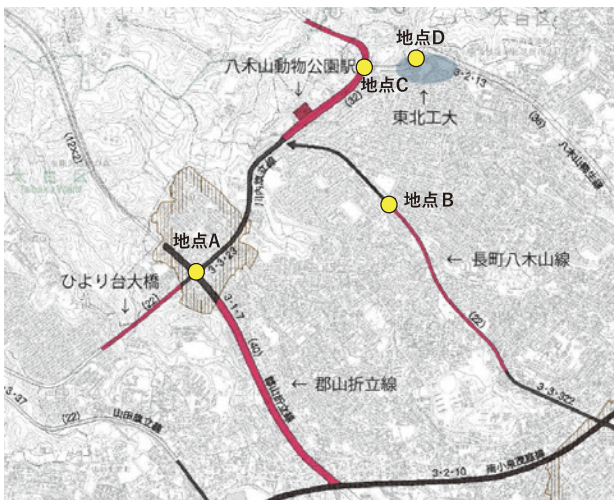


図 5 調査地点と近隣道路配置

※参考文献[4]より地図引用、著者により一部加工

地点 A は新規に開通したひより台大橋及び郡山折立線が交わる交差点、地点 B は新規に開通した長町八木山線の芦ノ口地区と既存市営バス路線が交わる交差点、地点 C は新規に開設された仙

台市営地下鉄東西線動物公園駅の最寄りの交差点であり、それぞれ交通量の変化が予想されることから調査地点として設定した。また、新規の道路開通はないが、交通量の変化幅を比較するため地点 D での測定も行った。

(2) 調査日時

地点 A～C : 2015 年 9 月 28 日～12 月 22 日

A:15 日間, B: 6 日間, C: 6 日間

2016 年 5 月 18 日～10 月 12 日

A:9 日間, B: 5 日間, C: 6 日間

地点 D: 2015 年 11 月 5 日～12 月 18 日(全 17 日間)

調査は全て平日に行った。

(3) 調査項目

交通量、オゾン、二酸化窒素、紫外線強度、日射強度、気象条件(気温、気圧、相対湿度、風力、風向)

2.1 測定方法

(1) 交通量

数取器を用い 15 分間測定した。地点 A は 9:00～9:15、地点 B,C は 13:15～13:45 の 15 分間、地点 D は 13:00-13:15 に測定をした。自動二輪車、乗用車、バス、小型・大型貨物車を種類に関係なく 1 台とした。地点 A は、新規道路開通前の日中の交通量が他の地点と比較して少なく、その中で交通量が多く、日射量の影響が開始する 9:00 を測定時間に設定した。

(2) オゾン濃度

GASTEC の No.18L オゾン検知管 [測定範囲 : 25～50ppb]を使用した。検知管を手動型気体採取器に取り付け、1 回 100mL、1 分間の吸引を計 10 回(1000mL)行った。測定は同時に二本の検知管で行った。吸引後の検知管の発色部を撮影した画像を Adobe Photoshop に読み込み、RGB 値を読み取り、R/G、R-G 値が閾値以上を示す層を変色層として濃度を分析した。

(3) 二酸化窒素濃度

二酸化窒素捕集装置(図 6)[8]を作成し、ザルツマン試薬を含む吸収液に二酸化窒素を吸収させた。ザルツマン試薬 25mL を 60mL フッ素樹脂インピンジャー 2 個に入れ流量計の流量を 100mL/min に設定し、それぞれ 10 分間吸引、大気を流通させた。亜硝酸イオン標準液により、二酸化窒素濃度 0～25ppb 相当の標準液を段階的に調製し、それぞれザルツマン試薬と反応させた。この反応溶液の吸光度を 545nm で紫外可視分光光度計(日本分光 V-570)により測定し、検量線を作成、同様に捕集吸収液の吸光度を測定し、濃度を分析した。

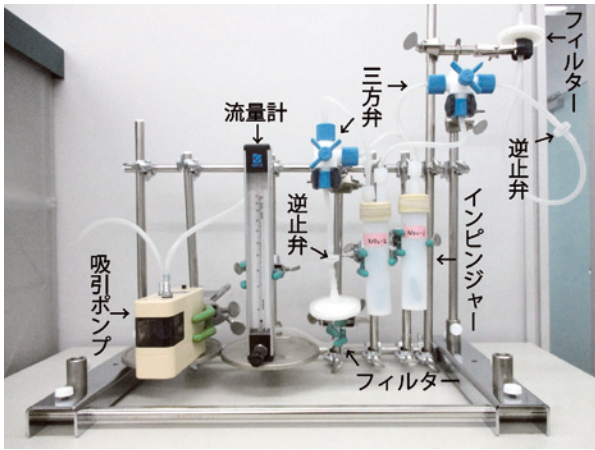


図 6 二酸化窒素捕集装置

(4) 紫外線強度・日射強度

測定日時の太陽高度、太陽方位を予め調べ、三脚台のステージを太陽方位の方向に向けステージを日射角に垂直になるように調整した。このステージに紫外線強度計(CUSTOM, UV-340C:波長範囲 250~390nm)または日射強度計(SENTRY OPTRONICS, ST530:波長範囲 400~1100nm)のセンサーを置き、5分おき4回測定した。

(5) 気象測定

専用三脚台に気象観測計(Kestrel, Pocket Weather Tracker Kestrel 4500)と風向測定用ウインド・ベインをセットし、気温、気圧、風向、風力、相対湿度を5分おき4回測定した。

3. 結果及び考察

3.1 交通量の変化

(1) 八木山南(地点 A)

地点 A について、3 方向(①動物公園、②鉤取、

③ひより台)での往来交通量を測定した。調査の方向と測定点を図 7 に示す。

測定期間中の各方向の 15 分間交通量と総交通量変化を図 8 に示す。また、測定期間をひより台大橋開通直前(I 期: 9/28~10/15), 郡山折立線開通直前(II 期: 10/22~11/17), 開通後 2015 年内(III 期: 11/25~12/21), 2016 年 6 月以降(IV 期: 6/1~10/12)に分けた各々の期間の平均交通量を図 9 に示す。ひより台大橋が開通したことにより、I 期→II 期で①→②、②→①の交通量はそれぞれ平均で 20→13, 36→23 台に減少した。逆に、ひより台大橋が開通する前はほとんど工事車両しか通ってなかった①→③、③→①の路線は開通後の交通量が 9→26, 8→36 台に増加した。郡山折立線開通前後の II 期→III 期では①→②、②→①の交通量は 13→34, 23→40 と増加した。III 期→IV 期では全ての方向で交通量が増加した。また、交差点の総交通量は I 期→II 期→III 期→IV 期と時間が経過するにつれて 73→98→139→157 台と増加し、約 1 年で 2 倍以上となった。

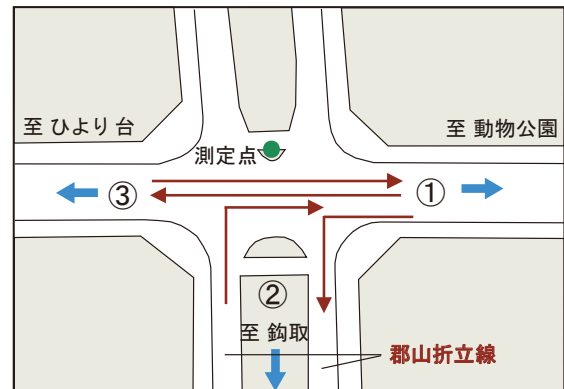


図 7 地点 A 交通調査方向

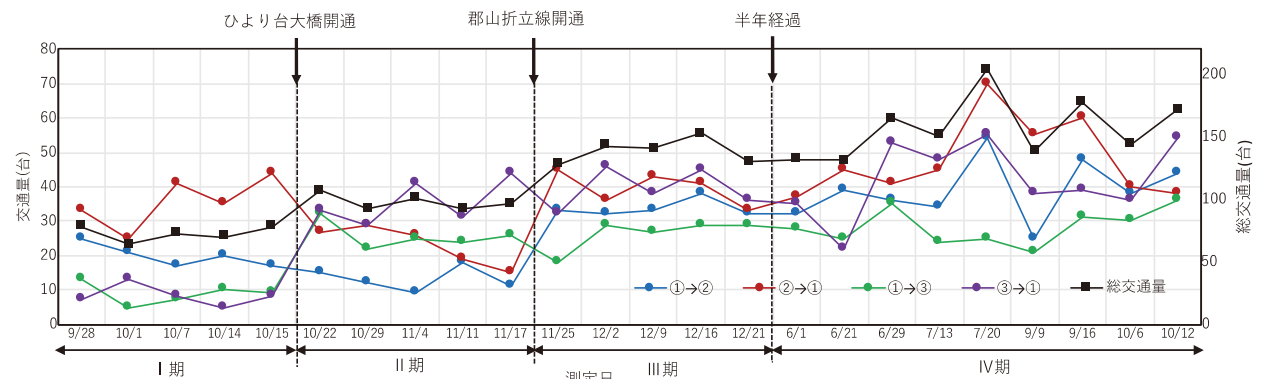


図 8 地点 A (八木山南) 交通量の日変化

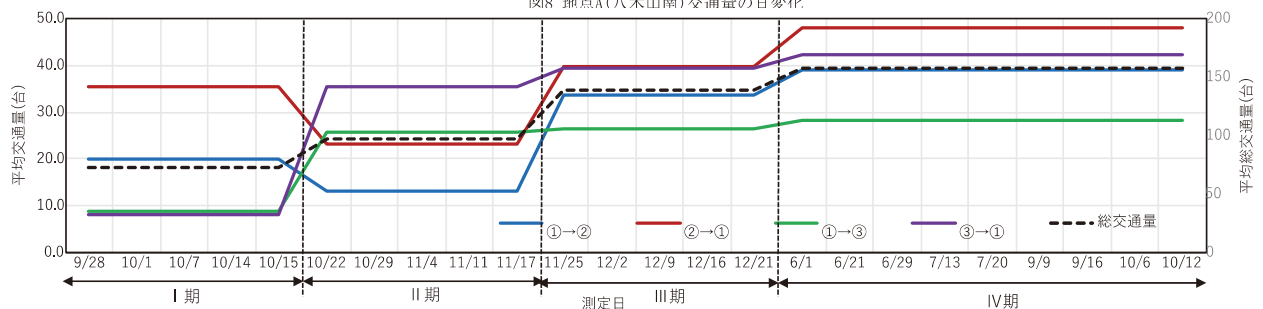


図 9 地点 A (八木山南) の期間平均交通量の推移

(2) 八木山小学校脇(地点 B)

地点 B について、3 方向①八木山本町、②西多賀、③長町)での往来交通量を測定した。調査の方向を図 10 に示す。測定期間中の各方向の 15 分間交通量と総交通量変化を図 11 に、測定期間を長町八木山線開通前後で分けた場合の各々の期間の平均交通量を図 12 に示す。

長町八木山線開通後、平均総交通量は 79 台から 136 台と約 1.7 倍に増加した。方向別では、①→③、③→①の長町八木山線新規道路と既存道路が接続するラインの交通量は 3.5～4 倍に増加した。一方、交通量が減少したのは②→①方向のみであった。対照的に、逆方向の①→②の交通量は増加した。



図 10 地点 B 交通調査方向

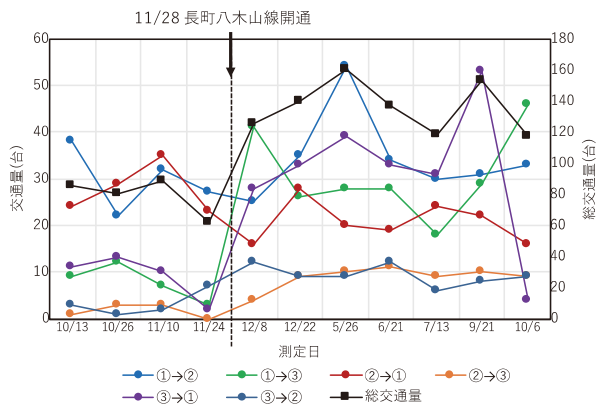


図 11 地点 B(八木山小脇)交通量の日変化

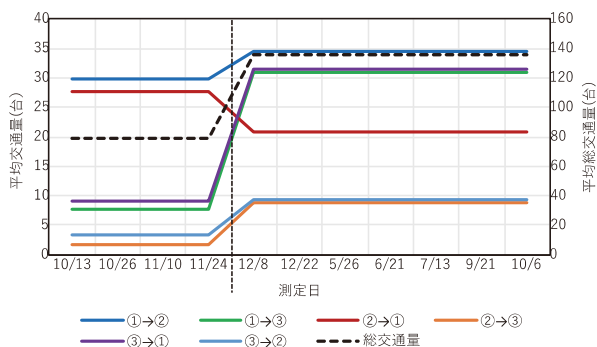


図 12 地点 B(八木山小脇)の期間平均交通量の推移

(3) 動物公園前(地点 C)

地点 C について、3 方向①向山、②八木山南、③青葉山)での往来交通量を測定した。調査の方向を図 13 に示す。測定期間中の各方向の 15 分間交通量と総交通量変化を図 14 に、測定期間を年毎に分けた場合の各々の期間の平均交通量を図 15 に示す。比較として仙台市の 2008, 2013 年の交通量調査の結果[5]を併記した。

総交通量は 2008 年から 2013 年にかけて 25% 程度減少し、2015 年には 10%増加、2016 年に 3%増加した。2015 年末には地下鉄東西線が開業し、地下鉄利用による交通量の変化が予想されたが、今回測定を行った平日昼過ぎの時間帯では交通量はほとんど変化しなかった。

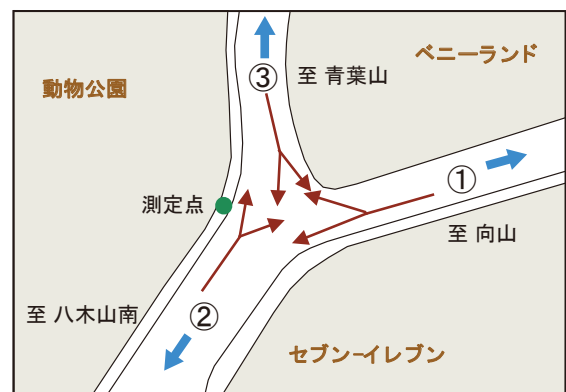


図 13 地点 C 交通調査方向

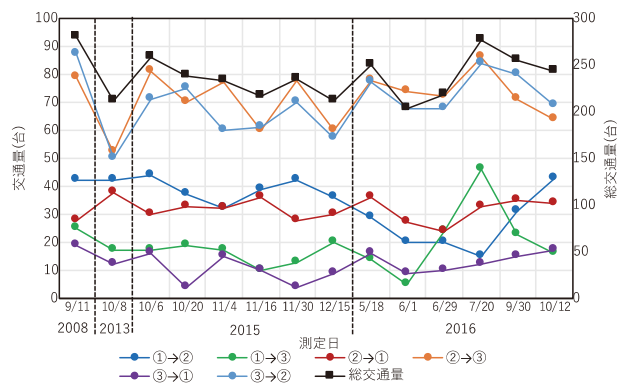


図 14 地点 C(動物公園前)交通量の日変化

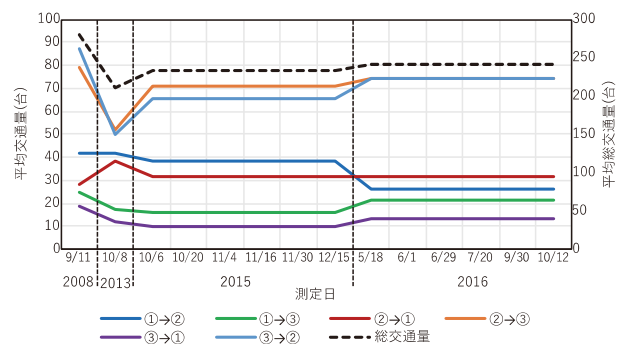


図 15 地点 C(動物公園前)の期間平均交通量の推移

2015 年から 2016 年にかけて、方向別ではほとんどのラインで交通量は微増もしくは変化しなかったが、①→②の向山から動物公園駅に向かうラインのみ約 70%減少した。

(4) 東北工業大学正門前(地点 D)

地点 D について、2 方向(①動物公園、②向山)での往来交通量を測定した。調査の方向を図 16 に示す。測定期間中の各方向の 15 分間交通量、総交通量変化及び平均交通量を図 17 に示す。

測定期間を 2015 年 12 月 6 日の地下鉄東西線開業前後で分けた場合、平均総交通量は 114→111 台とほとんど変化しなかった。また、各期間の総交通量の変動係数は開業前で 12%、開業後で 13%であった。また、①→②の平均交通量は 59 台から 54 台に若干減少し、②→①の平均交通量は 55 台から 56 台とほとんど変化しなかった。方向別の交通量は互いに連動していて、平均よりも交通量が少ない日は両方向とも交通量が少なく、逆の場合も両方向とも同様の傾向であった。

この測定地点より動物公園方向に進むと、順次地下鉄動物公園駅、長町八木山線、郡山折立線に接続するが、測定期間中に新規道路の開通があったものの、向山方向に接続する地点 D での交通量に変化はみられなかった。

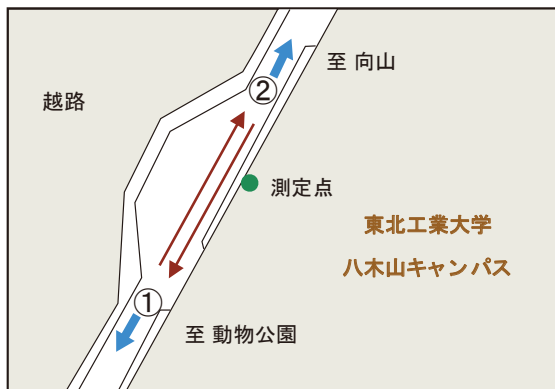


図 16 地点 D 交通調査方向

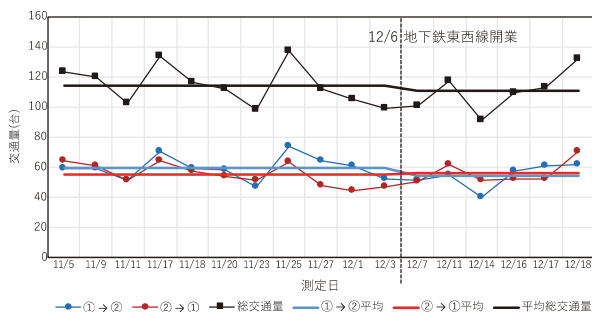


図 17 地点 D(東北工大八木山キャンパス前)交通量の日変化

3.2 大気中の二酸化窒素及びオゾン濃度

大気中の二酸化窒素及びオゾン濃度の測定は各測定地点の道路と歩道の境界(図 7, 10, 13 中の測定点)で測定を行った。地点 A, B, C における交

差点は片側 1~2 車線であり、測定点の道路歩道境界から交差点中央までは最大で 8m 程度で、交差点内と近傍では大気の拡散により大気中物質濃度はほぼ一様であると仮定した。地点別(地点 A~C)の大気中二酸化窒素濃度及びオゾン濃度の変動幅を図 18, 19 にそれぞれ示す。

測定期間を 2015 年 10~12 月の秋冬期間と、2016 年 5~9 月の春夏期間に分けた場合の濃度の平均値を示した。エラーバーの上端は測定値の最大値を、下端は測定値の最小値を示している。

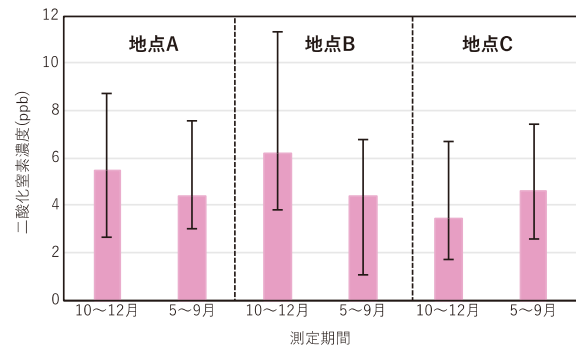


図 18 地点別大気中二酸化窒素濃度の変動幅

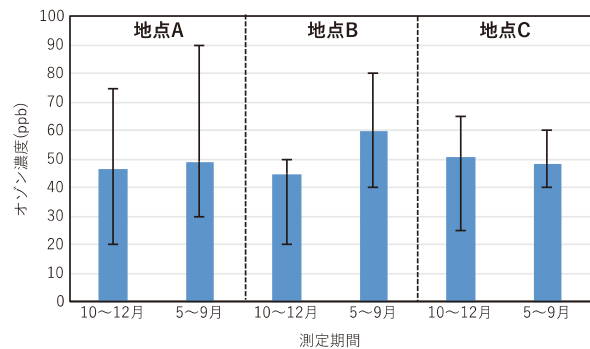


図 19 地点別大気中オゾン濃度の変動幅

二酸化窒素の平均濃度は、10~12 月では地点 B > 地点 A > 地点 C の順序で高かったが、5~9 月においては地点による差はほとんど無かった。また、測定期間別の平均値を比較すると、地点 A, B では 10~12 月平均濃度 > 5~9 月平均濃度で、地点 C はその逆の変動を示した。

オゾンの平均濃度は、10~12 月では地点による差はほとんど無く、5~9 月では地点 B が地点 A, C よりも高くなった。また、測定期間別の平均値を比較すると、地点 A, B では 5~9 月平均濃度 > 10~12 月平均濃度で、地点 C はその逆の変動を示した。また、平均気温は 10~12 月において、地点 A 11℃、地点 B 14℃、地点 C 16℃、5~9 月は各地点とも 23~24℃であった。

A~C 地点とも、二酸化窒素濃度の季節変動の傾向は、オゾン濃度の季節変動と全く逆の傾向がみられた。オゾンを含む光化学オキシダントの生成には大気中の窒素酸化物の光化学反応が関与

していると言われている[7]。窒素酸化物が反応してオゾンを生じやすい条件下では、窒素酸化物からのオゾンの生成量が多くなり、また、逆の条件では窒素酸化物が反応しにくく残留するため、前述のように、二酸化窒素濃度とオゾン濃度の季節変動が逆の傾向になったと考えられる。

3.3 測定項目間の相関

都市計画道路の新規開通に伴う交通量の変動による環境変化の影響を検討するため、測定項目間の相関分析を行った。大気中の二酸化窒素とオゾン濃度は気象条件にも影響を受ける可能性があるため、相関分析は地点、測定期間を限定する必要がある。ここでは、地点 A 八木山南交差点での 2015 年 10～12 月測定結果を用いて相関分析を行った。

図 20 に八木山南交差点の総交通量と大気中二酸化窒素とオゾン濃度間の散布図を示す。

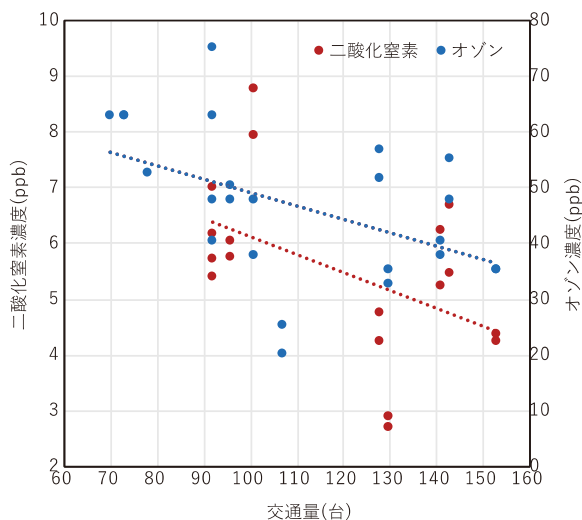


図 20 総交通量と二酸化窒素及びオゾン濃度の相関

総交通量が増加すると二酸化窒素濃度は高くなると予想されたが、総交通量と二酸化窒素とオゾン濃度は負の相関となり、総交通量との間に正の相関関係はみられなかった。相関係数は二酸化窒素 -0.484 、オゾン -0.483 とほぼ同じであった。

また、地点 A での大気採取測定点(図 7)前を通過する③→①、②→①の 2 方向の合計交通量と二酸化窒素とオゾン濃度との間で相関分析を行ったところ、総交通量と同様に負の相関となった。

図 21 に紫外線強度と大気中オゾンと二酸化窒素濃度間の、図 22 に日射強度と大気中オゾンと二酸化窒素濃度間の散布図を示す。

紫外線強度と大気中二酸化窒素、オゾン濃度は高い相関を示した。相関係数は二酸化窒素 0.805 、オゾン 0.654 と、二酸化窒素の方の相関が高かった。紫外線強度が $500 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以下の時、オゾン

濃度は最小 20 、最大 57ppb 、二酸化窒素では最小 2.7 、最大 4.7ppb であったが、紫外線強度が $2500 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以上の時、オゾン濃度は最小 38 、最大 75ppb 、二酸化窒素濃度では最小 5.4 、最大 5.7ppb であった。これは、紫外線により車の排気ガス等に含まれる窒素酸化物が空気中の酸素と光化学反応を起こし、オゾン等の光化学オキシダントを生成するという機構[7]に合致する。

また、日射強度が高い時、オゾンと二酸化窒素濃度は高く、紫外線強度の場合と同様の高い正の相関を示した。相関係数は二酸化窒素 0.796 、オゾン 0.552 と、二酸化窒素の方の相関が高かった。

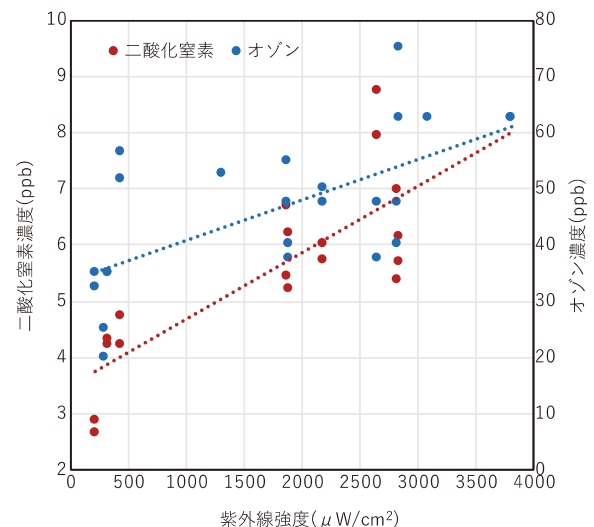


図 21 紫外線強度と二酸化窒素及びオゾン濃度の相関

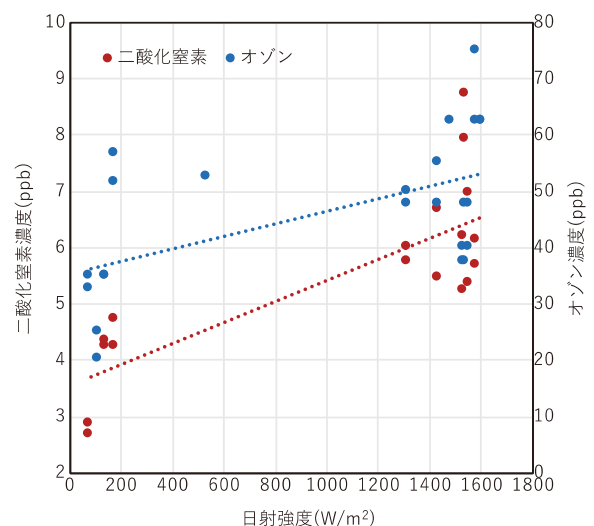


図 22 日射強度と二酸化窒素及びオゾン濃度の相関

図 23 に風速と大気中オゾンと二酸化窒素濃度間の、図 24 に気温と大気中オゾンと二酸化窒素濃度間の散布図を示す。

風速が 0 m/s の時、オゾン濃度は最小 33 、最大 50 ppb であったが、風速が大きい 2.8 m/s の時、

オゾン濃度は最小 52, 最大 75 ppb であり, 風速とオゾン濃度との間に中程度の正の相関がみられた。相関係数は二酸化窒素 0.110, オゾン 0.478 であった。

気温が 5℃以下の時, 二酸化窒素濃度は最小 2.7, 最大 6.7 ppb であったが, 気温が 10℃以上の時, 最小 4.2, 最大 8.7ppb であり, 気温と二酸化窒素濃度との間に中程度の正の相関がみられた。相関係数は二酸化窒素 0.476, オゾン 0.261 であった。

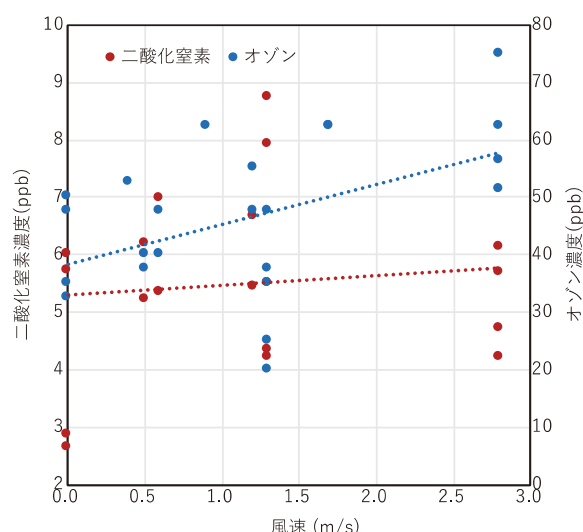


図 23 風速と二酸化窒素及びオゾン濃度の相関

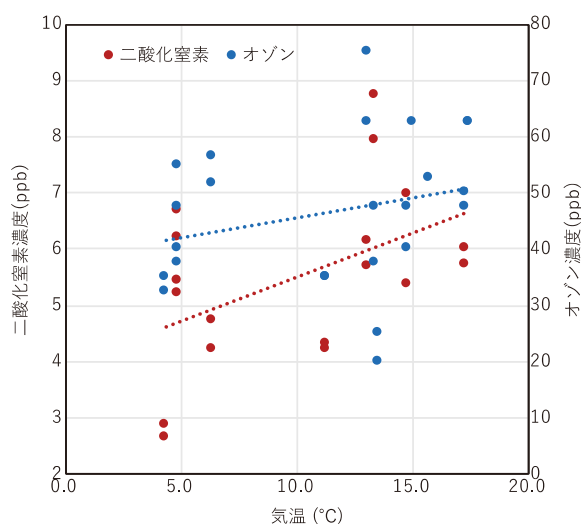


図 24 気温と二酸化窒素及びオゾン濃度の相関

宮城県における道路近傍での NO_x 濃度と平日 12 時間の交通量の関連を解析した報告[9]によると, Calm(風速 0.2 m/s 以下)時[10]における NO_x 濃度の平均値は夜間冬期において交通量と高い相関(相関係数 0.892)を示した。一方, 昼間夏期においては交通量との相関は相関係数 0.327 と高くない。 NO_x 濃度, 交通量及び気象条件(主に風

力, 気温)の関係については, 気象条件を限定し, 拡散の影響が少ない条件下で検証する必要があると考えられる。

4. まとめ

仙台市八木山地区に新たに開通した都市計画道路沿道や近辺の交通量と大気中の二酸化窒素とオゾン濃度, 気温, 風力等の気象の調査を行った。

都市計画道路開通により新規に開通した道路との接続部交差点での測定時間帯における総交通量は増加した。一方, 既存道路, 交差点での総交通量はほとんど変化しなかった。測定地点の一つである八木山南交差点では以下の結果を得た。

交通量とオゾン, 二酸化窒素濃度の間に正の相関はなかった。紫外線強度及び日射強度はオゾン, 二酸化窒素濃度との間に高い正の相関を示した。

10~12 月の測定期間において新道開通による交通量増加の影響は紫外線強度などの気象条件よりも沿道大気環境に対して影響は小さいことが分かった。

参 考 文 献

[1]都市計画道路網の見直しによる「新たな幹線道路網(案)」(平成 22 年 6 月 1 日策定),仙台市都市整備局,

http://www.city.sendai.jp/kotsu-kekaku/kurashi/machi/kotsu/kekakunado/documents/6_1.pdf

[2]河北新報 2015 年 4 月 16 日朝刊, 河北新報 ONLINE NEWS,

http://www.kahoku.co.jp/tohokunews/201504/20150416_13019.html

[3]郡山折立線(鈎取工区)街路事業資料(平成 25 年 10 月 28 日), 仙台市都市整備局,

<http://www.city.sendai.jp/gijutsukikaku/jigyosha/keyaku/gijutsu/saihyoka/h25/documents/h25-2-7kagitori.pdf>

[4] 仙台市都市計画道路整備状況図[地面図](平成 26 年 4 月現在), 仙台市建設局,

https://www.city.sendai.jp/jigyokekaku/kurashi/machi/kotsu/jigyo/documents/seibijyokyo_chizumen.pdf

[5] 仙台市内の主要交差点交通量の推移について, 仙台市都市整備局,

<https://www.city.sendai.jp/kotsu-kekaku/kurashi/machi/kotsu/data/sui.html>

[6]大気汚染常時監視情報, 宮城県保健環境センター大気環境部,

<http://www.ihe.pref.miyagi.jp/telem/>

[7] 自動車排出ガスに含まれる主な大気汚染物質，
九都県市あおぞらネットワーク，
<http://www.9taiki.jp/about/pollution/pollutants.html>
[8] JIS B 7953:2004 大気中の窒素酸化物自動計
測器，日本規格協会，Mar. 2004.

[9] 自動車排ガスによる汚染状況と自動車交通量
の関連，高橋誠幸，木立博，仁平明，加賀谷秀樹，
宮城県保健環境センター年報 平成 18 年度，No.
25, pp.77-79, Sep. 2007.
[10] 気象観測の手引，気象庁，Sep. 1998.